

## 新型装置

### 真空紫外和 X 射线激光器的某些途径

本文希望指出：通过光电离，原子内层的电子发射似乎是真空紫外和 X 射线波长跃迁产生粒子数反转的简单机理。例如当一个电子从铜原子的 K 壳层发射，其余的铜离子仍留在激发态，激发态又由于 L 壳层的一个电子掉到 K 壳层中而引起衰变。因为铜离子最初就没有，故光电离的过程是在单一步骤中引起粒子数反转，这使人回想起离子气体激光器中的 Bennett 一步激发过程。

电子从原子的优先的内壳层发射利用光电离过程的固有其本性即可做到：发射已知波长的、牢固束缚电子的几率比发射束缚不紧电子的几率大一个因子，此因子在 X 射线区是数倍，但在真空紫外区可能还会大得多。真空紫外显明例证是钠蒸气。钠蒸气的光电离横截面描绘于图 1，在 2P 层电子的发射阈值是 38 电子伏之上，宽广的能量范围内，可看到发射 2P 层电子的横截面比发射外壳层 3S 电子大一倍之多！很明显，可用宽带光子源在离子基态以上约 33 电子伏  $2P^5 3S$  结构激发态中的有效地选择性地产生钠离子。

图 1 也表明包含有大于 1.1 千电子伏带的泵源对 1.04 千电子伏从 L 壳层跃迁到 K 壳层能产生粒子数反转。在所有元素中光电离横截面呈现同样普遍的性能，可应用相同的原理。从电子碰撞电离横截面<sup>[3]</sup>性质来看，对于选择性从内壳层去除电子说来，电子似乎不如光子那么适合。

为给出一些有关的数字概念，在这里估计上述 33 电子伏跃迁处运转的钠蒸气激光作用和从 8 千电子伏 L 壳层跃迁到 K 壳层运转的固体铜激光器泵浦的需要值。

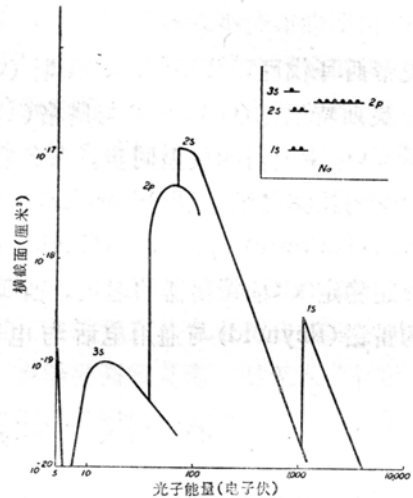


图 1 从参考文献 2 获得钠的光电离横截面。曲线上的符号表示何种电子壳层的横截面。插入值表示 Na 的全部的壳层结构。

钠原子 2P 电子光发射优先填充 Na II  $2P^5 3S$  结构的四个激发态。这四个激发态中寿命最短的  $3S_2^1P_1$  态，由于离子发射 33.3 电子伏的光子 ( $\lambda=372$  埃)， $3S_2^1P_1$  态衰变到  $2P^1S_0$  基态。该态的寿命是不知道的，但为了这里讨论起见，估计它足够维持 0.4 毫微秒，这是假设跃迁是具有象在等电子 Ne<sup>[4]</sup> 中对应于 736 埃线跃迁一样的振子强度 (0.16 吸收)。另外三个态的寿命长得多，它们的情况这里不谈。

因为基态是稳定的，所以这种跃迁上的

激光作用叫做“自终止”，因为其粒子反转数仅能持续上能态寿命的时间数量级。在这里碰见的是短寿命的，必须以行波形式抽运激光器。此种方式由 Shipman 首次在 3371 埃氮激光器上使用。Shipman 将一个迅速上升的电流脉冲应用到他的激光介质中，脉冲以光速通过激光器，从而在激发中放大一个短脉冲的紫外光。除对活泼的介质原则上允许任意地加长以外，其抽运功率也比较经济，因为在任何已知时间里，人们仅仅抽运一段较短的活泼介质。

使钠蒸气的激光器容积为  $1 \times 1 \times 500$  厘米，压力为 0.02 托（温度  $310^\circ\text{C}$ ）。使行波抽运真空紫外辐射带中心的量子能量为 50 电子伏，并垂直于激光器长度入射。在压力为 0.02 托时，1 厘米宽的激光介质仅吸收这种泵浦辐射的 0.3%，较高的压力将导致较高的效率和要求较低的抽运功率。但这里是不能使用它们。因为这种激光器有一个弱点：即是由于发射 3S 电子，被发射的 2P 层电子能够电离其它中性钠原子，从而减少了我们所追求的粒子数反转。压力 0.02 托时，短激光脉冲期间，这些电子引起电离的几率约 1%。

每厘米的增益  $G$  是由此给出<sup>[7]</sup>：

$$G = \frac{\lambda^2}{8\pi} \left( \frac{4 \ln 2}{\pi} \right) \frac{A}{\Delta\nu} \left( N_2 - \frac{g_2}{g_1} N_1 \right)$$

这里， $\lambda$  是波长（372 埃）， $A$  是爱因斯坦系数（2.5 千兆赫）， $\Delta\nu$  是多普勒宽度（30 千兆赫）， $N_1$  和  $N_2$  分别是上能态和下能态每立方厘米的原子数目， $g_2/g_1$  是它们的统计权重数比（这里是 3）。

假定行波泵是随时间而直线上升。设  $Pt$  是把已知立方厘米的钠原子泵到激光上能态的是速率，这里  $t$  是时间， $P$  的单位为原子/秒<sup>2</sup>厘米<sup>2</sup>。把速率公式积分，便发觉在泵抽运脉冲开始后  $0.6\tau_2$  时间时，宽度的最大

值重粒子数剩余  $(N_2 - g_2 N_1 / g_1)$  达到  $0.056 P\tau_2$ 。这里  $\tau_2$  是上能态寿命（0.4 毫微秒）。光致发射 2P 电子的效率应使这个最大值减少约 20% 和变化到  $0.55\tau_2$ 。由于泵的作用（3S 电子光电离），基态离子直接产物使这个最大值进一步减少约 10%。

当我们评价增益公式时，发现以 4 千瓦/毫微秒/厘米<sup>2</sup> 的速率上升的抽运功率产生的增益为 400 分贝/米，因此保证了超辐射激光作用。注意，由于 372 埃的吸收（光电离 3S 层电子）而引起的损失每米只有 0.3%。激光脉冲时间约为 0.1 毫微秒。对 5 米长最大可能总和是 1.5 兆瓦的激光器说来，它的饱和功率将是 3 千瓦/厘米<sup>3</sup>。

从铜的 K 壳层发射了一个电子之后，80 千电子伏（1,537 埃）的激光作用从  $2^2S_{1/2}K$  层空穴态跃迁到  $2^2P_{3/2}L$  支壳层空穴态，统计权重数比值 1 到 2 占优势。这里，人们争取短得多的寿命，这里高能态为 0.45 毫微微秒（ $10^{-15}$  秒），低能态为 <sup>[8]</sup>1.35 毫微微秒。再者跃迁是“自终止”，同时激光作用要求行波泵。推测活性介质是一条在铜的极光滑表面上的 1 微米  $\times$  1 微米  $\times$  5 毫米的窄带。抽运平均能量 12 千电子伏的 X 射线时，在 1 微米中约有抽运辐射的 10% 被吸收。在这样的能量处，在 K 壳层中发射一个电子的横截面比在 L 壳层中的约大 8 倍。

在这种情况下，我们发现行波泵功率直线地上升至每平方米每毫微微秒 25 千瓦的速率时，将获得 400 分贝/毫米的增益。因此，在 1,537 埃处轻松地超过在 200 分贝/毫米的吸收损失时，净增益则为 200 分贝/毫米。

上面的估计使人明确：抽运一个 33 电子伏的激光器，尤其是抽运一个 8 千电子伏的 X 射线激光器是一个难题。尽管绝对功率和

上升时间是没有太超出激光工艺学的领域。 $4 \times 10^{-12}$  秒的短脉冲曾从 Nb 玻璃激光器观察到<sup>[9]</sup>, 用这样的激光器可能观察到  $10^{-13}$  秒的短脉冲<sup>[10]</sup>。把这些光功率转化为 X 射线波长是难题之一。如果转换效率足够高, 相对论电子<sup>[11]</sup> 康普敦光散射和激光火花的产生<sup>[12]</sup> 将贡献出有意义的可能性。

显然, 其它原子和分子系统也能够由于发射内壳层电子而被抽运。但在一般情况下, 对十分快的 Auger 过程必须注意, 这里原子衰变宁可带着电子发射, 而不发射光子。在封闭壳层核心外具有绕轨道运行的单电子的钠和其它原子在这里是有利的, 因为, 其它电子不可能用来发生 Auger 过程。

最后值得指出的是: 发射内壳层电子, 其后又产生 Auger 过程在高电离类型中能导致粒子数反转。它适合于连续波激光作用。例如铝蒸气 K 壳层电子发射在大多数情况下是通过 Auger 过程在三次电离离子中进行 (Al IV), 3P 层有一个电子, 3S 层没有电子, 在 2P 层具有一个空穴。激光作用将在 3P 和 3S 结构态之间的能态内, 以与氦离子激光器<sup>[13]</sup> 同样的方式发生。

### 参 考 文 献 (略)

译自 Dugwar M. A., Rentzepis P. M., *Appl. Phys. Lett.*, 1967 (June 15), 10, № 12, 350—353

## 输出 50,000 兆瓦的大功率激光器商品

法国通用电气公司已研制并出售一种红外 Q 开关激光器, 据说是各国迄今为止功率最高的商品。激光器是一种掺钕玻璃激光系统, 可产生 50,000 兆瓦的功率 (250 焦耳、5 毫微秒), 或  $4 \times 10^{16}$  瓦/厘米<sup>2</sup>/球面度 (500 焦耳、30 毫微秒) 的高亮度花样。虽然美帝激光研究者说, 目前的大功率激光器可以产生高达 100,000 兆瓦的峰值功率, 短达 0.01 毫微秒的脉冲宽度, 但目前却无此类商品。

此种装置使用导频振荡器, 辅以一系列

放大器, 以产生这样高的功率。系统的主要应用可望在物理实验方面。使用一个水冷椭圆腔即可达到 1 次/5 分钟的重复率。以后的各放大级直径扩大, 以阻止装置受热过度, 使玻棒破碎。

现在已研制出两种 Q 开关激光几何结构: 一种是用于高亮度的, 一种是用于高功率的。

译自 *Laser Weekly*, 1967 (Oct. 2), 1, №. 2,3—4

## 苏修制成输出 5,000 瓦的 CO<sub>2</sub> 激光器

据苏修研究者普罗霍洛夫 (A. M. Прохоров) 说, 苏修已研制出一种二氧化碳激光器, 连续输出 5,000 瓦。激光的运转效

率为 30%。

译自 *Electronics*. 1967 (Oct.) 40, №20, 238